

Adam PONIKIEWSKI¹, Damian KOLNY², Robert DROBINA³

Opiekun naukowy: Robert DROBINA

ANALIZA PROCESU WYTWARZANIA ADDYTYWNEGO - ZAŁOŻENIA MODELOWE (CZĘŚĆ I)

Streszczenie: W artykule przedstawiono technologię wytwarzania addytywnego, zwaną również drukiem 3D. Metoda ta stanowi istotny rozwój w zakresie technik szybkiego prototypowania. Celem artykułu jest analiza dostępnych metod i technik wykonywania trójwymiarowych obiektów przestrzennych pod kątem możliwości realizacji tworzenia modeli i prototypów. W ramach cyklu artykułów przedstawiających zagadnienia techniki wytwarzania, jaką jest druk 3D, opis części badawczej zawarto w części II

Słowa kluczowe: kształtowanie addytywne, nowoczesne technologie produkcyjne, druk 3D

ANALYSIS OF ADDITIVE MANUFACTURING PROCESS - MODEL ASSUMPTIONS (PART I)

Summary: The article presents the additive manufacturing technology, also known as 3D printing. This method is a significant development in the field of rapid prototyping techniques. The aim of the article is to analyze available methods and techniques for creating three-dimensional spatial objects in terms of the possibility of creating models and prototypes. Within the article, the research part is presented in part II.

Keywords: additive manufacturing, modern production technologies, 3D printing

1. Wprowadzenie

Współcześnie druk 3D stał się niezwykle popularnym i innowacyjnym sposobem tworzenia komponentów oraz gotowych już przedmiotów o przeróżnych zastosowaniach. Technologia ta, znana również jako wytwarzanie addytywne, pozwala na tworzenie trójwymiarowych obiektów poprzez stopniowe nanoszenie warstw materiału - jest to znaczne odejście od tradycyjnych metod produkcyjnych, choćby takich jak obróbka skrawaniem, która opierają się na usuwaniu nadmiaru

¹ inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Inżynieria Zarządzania Przedsiębiorstwem, aadam.ponikiewski@gmail.com

² mgr inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski, email: dkolny@ubb.edu.pl

³ dr hab. inż., prof. UBB, Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: rdrobina@ubb.edu.pl

materiału w celu uzyskania pożądanego kształtu lub takich jak obróbka plastyczna, która polega na nadawaniu kształtu za pomocą formowania elementu [5]. Wytwarzanie addytywne w kontekście druku 3D wykorzystuje procesy sterowane przez komputer, tak aby warstwa po warstwie tworzyć obiekty o złożonych kształtach. Proces ten rozpoczyna się od stworzenia wirtualnego modelu 3D przy użyciu oprogramowania do projektowania CAD (ang. Computer-Aided Design) [2]. Następnie model ten jest przekształcany w sekwencję instrukcji zapisanych w znormalizowanym języku przeznaczonym do odczytu przez urządzenia CNC, znanym również jako G-code. To właśnie za pomocą kodu zapisanego w języku G-code drukarki mogą odczytywać, a następnie wykonywać polecenia operatora lub te zapisane wcześniej w instrukcji [1].

Działanie drukarki 3D polega na nanoszeniu materiału w formie ciekłej lub proszkowej na podłoże w pełni kontrolowany sposób. Każda warstwa materiału jest dodawana na wcześniej wydrukowaną warstwę, aż do uzyskania całego obiektu. Proces ten umożliwia tworzenie złożonych kształtów i struktur, które mogą być trudne do wykonania przy użyciu tradycyjnych metod wytwarzania. Wytwarzanie addytywne oferuje wiele zalet w porównaniu do tradycyjnych metod produkcji, w tym tworzenie skomplikowanych geometrii i struktur. Jedną z głównych zalet jest możliwość tworzenia niestandardowych, spersonalizowanych przedmiotów, które są dopasowane do indywidualnych potrzeb i wymagań użytkowników. To otwiera nowe możliwości w projektowaniu i produkcji elementów. Druk 3D znacząco przyspiesza proces projektowania i rozwijania nowych produktów. Tradycyjne metody wymagają tworzenia narzędzi, form lub maszyn specjalistycznych, co zajmuje czas i generuje dodatkowe koszty. Druk 3D umożliwia szybkie prototypowanie i testowanie różnych koncepcji bez konieczności inwestowania w drogie i specjalistyczne narzędzia. Pozwala to na skrócenie czasu wprowadzania potencjalnej innowacji na rynek. Wytwarzanie addytywne może prowadzić do mniejszego zużycia materiałów i generowania mniejszej ilości odpadów w porównaniu do tradycyjnych metod produkcji.

Dzięki możliwości efektywniejszego wykorzystania materiałów poprzez nanoszenie tylko niezbędnych warstw, co bezpośrednio prowadzi do zmniejszenia marnotrawstwa, technologia druku 3D znalazła szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach, takich jak przemysł lotniczy, motoryzacyjny, projektowanie produktów, architektura czy nawet medycyna. Wszechstronność wytwarzania addytywne umożliwia dalszy rozwój technologii druku 3D, co otwiera drogę do prawdziwego zrewolucjonizowania przemysłu [2-3].

2. Szybkie prototypowanie

Technika szybkiego prototypowania (Rapid Prototyping, RP) jest innowacyjnym podejściem do wytwarzania prototypów i części przy użyciu metod addytywnych. Metoda ta umożliwia tworzenie trójwymiarowych obiektów poprzez nanoszenie materiału, w przeciwieństwie do tradycyjnych metod, takich jak obróbka skrawaniem czy odlew. W ramach tej techniki wykorzystuje się różnorodne technologie druku 3D, które umożliwiają realizację skomplikowanych geometrii i niestandardowych kształtów w stosunkowo krótkim czasie [4, 5].

Pierwszym etapem w technice RP jest opracowanie modelu 3D obiektu za pomocą specjalistycznego oprogramowania CAD. Model ten jest następnie poddawany procesowi przygotowania do druku, który obejmuje: analizę geometrii, skalowanie, orientację, podział na warstwy oraz inne parametry przygotowania i wykonania druku.

Etapem drugim jest wybór odpowiedniej technologii druku 3D, która najlepiej odpowiada wymaganiom danego prototypu. Istnieje wiele różnych technologii, takich jak FDM (Fused Deposition Modeling), SLA (Stereolithography), SLS (Selective Laser Sintering), DLP (Digital Light Processing) czy MJF (Multi Jet Fusion), z których każda ma swoje unikalne cechy i zastosowania. Wszystkie wymienione technologie umożliwiają precyzyjne nanoszenie materiału, co daje możliwość tworzenia złożonych detali i skomplikowanych geometrii [4-5].

Korzyści płynące ze stosowania techniki szybkiego prototypowania dotyczą głównie znacznego skrócenia czasu wytwarzania prototypów w porównaniu do tradycyjnych metod. Zamiast długotrwałych procesów obróbki prototypy można wydrukować w ciągu kilku lub kilkunastu godzin. To przyspiesza cały proces rozwoju produktu i pozwala na szybsze wprowadzenie innowacji. Ponadto, przy konieczności wprowadzania dowolnej zmiany w projekcie technika ta jest bardziej elastyczna i umożliwia jej szybkie wprowadzanie. Wystarczy zmodyfikować projekt w programie CAD i ponownie wydrukować zmodyfikowany prototyp [4-7].

3.1. Rodzaje technologii druku 3D

W dziedzinie druku 3D istnieje wiele różnych technologii. Każda z tych technologii ma swoje unikalne cechy i zastosowania. Ich rozwój ciągle postępuje, dając coraz większe możliwości. W dalszej części artykułu przedstawiono kilka głównych rodzajów technologii druku 3D.

3.1 Metoda FDM

Technologia FDM (Fused Deposition Modeling) lub FFF (Fused Filament Fabrication) należy do grupy technik przyrostowych [5]. Metoda ta polega na nakładaniu roztopionego filamentu, co umożliwia tworzenie elementów poprzez sukcesywne dodawanie warstw tworzywa. Początkowo technologia FDM była stosowana głównie do produkcji prototypów i modeli poglądowych, ale obecnie znalazła zastosowanie w wytwarzaniu wysokiej jakości prototypów funkcjonalnych oraz modeli koncepcyjnych z różnych materiałów termoplastycznych, takich jak PLA, ABS, ASA, PC, PC-ABS i ULTEM. Za twórcę technologii FDM uznawana jest firma Stratasys®, która zajmowała się tym od lat 90.

Podstawowe cechy determinujące użyteczność technologii FDM/FFF zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1 Korzyści i ograniczenia wynikające z druku 3D w technologii FDM/FFF [17]

Korzyści	Ograniczenia
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ekonomiczność produkcji ✓ szybkie tempo budowy ✓ możliwość drukowania elementów z wytrzymałych tworzyw ✓ szeroka gama dostępnych materiałów ✓ nieskomplikowany postprocessing ✓ łatwość użytkowania 	<ul style="list-style-type: none"> × duża anizotropia wydrukowanych części × ograniczona zdolność drukowania skomplikowanych geometrii, × konieczność dodatkowej obróbki wykańczającej w celu sunięcia linii łączenia warstw

Jeżeli wymagana jest struktura podporowa, istnieje możliwość zastosowania materiału, który może być później rozpuszczony lub z łatwością usunięty [3-7, 17]. Obecnie technologia ta jest najpowszechniejszą metodą przyrostową na świecie.

3.2 Metoda Stereolithography (SLA)

Technologia SLA jest jedną z najstarszych i podstawowych metod druku 3D, która została opracowana w 1984 roku przez Charlesa Hulla. SLA należy do grupy technik druku 3D opartych na fotopolimeryzacji żywicy: żywica fotopolimerowa jest selektywnie utwardzana światłem lasera, co umożliwia tworzenie obiektów warstwa po warstwie. Ta pionierska technologia stanowiła podstawę dla rozwoju innych metod wytwarzania przyrostowego. Druk 3D SLA cechuje się wysoką precyzją i gładką powierzchnią elementów. Obecnie nowoczesne drukarki tej technologii wykorzystują "odwróconą" metodę SLA, co pozwala zmniejszyć straty materiału, rozmiar drukarki oraz ułatwia jej obsługę [5]. Podstawowe cechy determinujące użyteczność technologii SLA zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2 Korzyści i ograniczenia wynikające z druku 3D w technologii SLA [18]

Korzyści	Ograniczenia
<ul style="list-style-type: none"> ✓ wysoka precyzja wydruku ✓ wysoka dokładność wymiarowej, ✓ możliwość uzyskania dużej gładkości powierzchni, ✓ szeroki zakres przetwarzanych materiałów (żywicznych), ✓ łatwa obróbka wykańczająca 	<ul style="list-style-type: none"> × stosunkowo duża kruchość części, × duża wrażliwość na długotrwałe działanie promieni słonecznych, × ograniczone rozmiary druku × konieczność właściwej orientacji części oraz stosowania struktur podporowych, × wymagana obróbka wykańczająca

Rozwój technologii SLA zapoczątkował rewolucję w dziedzinie szybszego wytwarzania elementów o wysokiej jakości [18]. Jest szeroko stosowana w różnych branżach, dzięki możliwości drukowania precyzyjnych detali i uzyskiwania wysokiej jakości wykończenia powierzchni.

3.3 Metoda Selective Laser Sintering (SLS)

Technologia SLS umożliwia drukowanie modeli 3D metodą selektywnego spiekania laserowego materiałów bazujących na poliamidach. Technologia ta umożliwia wytwarzanie funkcjonalnych prototypów, części zamiennych jak i również elementów gotowych. Warto też zauważyć fakt, że jest to też jedna z głównych metod

szybkiego prototypowania. Obecnie jest to najczęściej stosowana metoda druku 3D w małoseryjnych produkcji finalnych części maszyn i urządzeń technicznych. Duża swoboda projektowania, wysoka dokładność wykonanych elementów oraz możliwość produkcji części o wysokich właściwościach mechanicznych sprawiają, że technologia SLS zyskuje coraz większe znaczenie w przemyśle [19, 20]. Podstawowe cechy determinujące użyteczność technologii SLS zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3 Korzyści i ograniczenia wynikające z druku 3D w technologii SLS [19, 20]

Korzyści	Ograniczenia
<ul style="list-style-type: none"> ✓ izotropowe właściwości mechaniczne, ✓ możliwość tworzenia elementów o złożonych geometriach bez konieczności stosowania dodatkowych struktur podporowych, ✓ produkcja małych i średnich partii, ✓ elastyczność w produkcji, ✓ wysoką wytrzymałość, ✓ łatwa obróbka postprocesingowa, ✓ szybkie budowanie dużej ilości elementów, ✓ koszty materiału i eksploatacji drukarki są niskie ✓ duża dokładność wymiarowa 	<ul style="list-style-type: none"> × relatywnie długi czas realizacji zlecenia, × ziarnistość powierzchni i wewnętrzna porowatość wymaga dodatkowej obróbki w celu uzyskania gładkiej powierzchni lub zapewnienia wodoszczelności, × wydrukowane elementy mają tendencję do kurczenia się i odkształcania, co może utrudniać precyzyjne wydrukowanie dużych i płaskich powierzchni oraz elementów o niewielkich średnicach, takich jak rowki i otwory,

Po zakończeniu procesu drukowania, wydrukowane elementy znajdują się w pojemniku wraz z niespieczonym proszkiem. Pojemnik musi ostygnąć, a następnie należy oczyścić elementy. Niespieczony proszek może być częściowo odzyskany i ponownie wykorzystany w kolejnym procesie drukowania. W przypadku technologii SLS, około 50% proszku może być ponownie przetworzonego. Po przeprowadzeniu procesu SLS, wydrukowane elementy mogą być poddane obróbce postprocesingowej [10, 12, 19, 20].

3.4 Metoda Digital Light Processing (DLP)

Digital Light Processing (DLP) to metoda wytwarzania addytywnego, w której wykorzystuje się cyfrowy projektor do utwardzania ciekłej warstwy polimeru w celu stworzenia obiektu 3D. Proces rozpoczyna się od umieszczenia regulowanej platformy budowlanej w płytkim pojemniku z przezroczystym dnem, wypełnionym fotopolimerem, który reaguje na światło. Projektor emituje przekrój szczegółu poprzez przezroczyste dno pojemnika, co powoduje utwardzenie pojedynczej warstwy fotopolimeru. Następnie platforma z utwardzonym elementem jest podnoszona, aby umożliwić wypełnienie nową cienką warstwą fotopolimeru przestrzeni na dnie naczynia. Proces projekcji i utwardzania jest powtarzany, budując kolejne przekroje na wcześniejszych. W przypadku wystających części komponentu, mogą być tworzone struktury podporowe, jeśli ciecz nie jest w stanie utrzymać ich wagi. Cały cykl jest powtarzany, aż do utworzenia całego obiektu 3D, który następnie jest oczyszczany z ewentualnych struktur podporowych i utwardzany w piecu UV. Nieużyta ciecz może być poddawana recyklingowi i użyta ponownie [10, 12].

Podstawowe cechy determinujące użyteczność technologii DLP zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4 Korzyści i ograniczenia wynikające z druku 3D w technologii DLP [21, 22]

Korzyści	Ograniczenia
<ul style="list-style-type: none"> ✓ wysoka dokładność wydrukowanych elementów, ✓ gładka powierzchnia wydruków 	<ul style="list-style-type: none"> × relatywnie niska wytrzymałość mechaniczna

Technologia DLP jest przydatna w branżach, które wymagają precyzyjnych wydruków, gdyż oferuje ona doskonałą dokładność (na poziomie kilkudziesięciu mikronów) i gładką powierzchnię wydruków. Wydruki DLP mogą mieć niższą wytrzymałość mechaniczną względem druków SLS [10, 12, 21, 22].

3.5 Metoda Multi Jet Fusion (MJF)

Technologia druku 3D Multi Jet Fusion (MJF) jest zaawansowaną metodą termicznego przetapiania proszków polimerowych. Proces polega na spajaniu proszków za pomocą głowicy termicznej. Używany materiał to poliamid PA12 (nylon) o wysokich właściwościach mechanicznych (charakteryzuje go między innymi duża wytrzymałość i elastyczność przy cienkich warstwach oraz wysoka odporność chemiczna)[33]. MJF znajduje zastosowanie w prototypowaniu, produkcji małoseryjnej i tworzeniu części zamiennych. Technologia MJF pozwala na osiągnięcie znakomych właściwości mechanicznych, spełniających przeróżne wymagania konstrukcyjne. Technologia MJF jest również wydajna, umożliwiając produkcję detali "na gotowo" oraz krótkie serie produkcyjne. Podstawowe cechy determinujące użyteczność technologii MJF zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5 Korzyści i ograniczenia wynikające z druku 3D w technologii MJF [23-25]

Korzyści	Ograniczenia
<ul style="list-style-type: none"> ✓ właściwości mechaniczne, ✓ elementy są wytrzymałe, elastyczne i odporne na uderzenia, ✓ duża dokładność i powtarzalność wymiarowa ✓ wysoka wydajność 	<ul style="list-style-type: none"> × dość długi czas realizacji procesu × zależność wymiarowa przedmiotu od wielkości zasobnika, × relatywnie wysoki koszt druku,

Technologia MJF jest idealna do tworzenia modeli koncepcyjnych oraz funkcjonalnych prototypów, które umożliwiają weryfikację i testowanie przed wdrożeniem do produkcji [23-25]. Wykorzystywana jest do wytwarzania małych partii wyrobów (m. in. obudowy elektroniki, części zamiennych i części maszyn.).

3. Materiały stosowane do druku 3D

Materiały stosowane w druku 3D można przyporządkować do czterech grup: tworzywa sztuczne, materiały metaliczne, materiały ceramiczne i biomateriały.

Najpopularniejszymi materiałami stosowanymi w druku 3D są różnego rodzaju tworzywa sztuczne, takie jak PLA, ABS, PETG, nylon, PVA czy TPU. Tworzywa te są szeroko dostępne i łatwe w kształtowaniu podczas drukowania. Charakteryzują się jednak różnymi parametrami takimi jak: wytrzymałość, elastyczność, odporność na działanie czynników atmosferycznych czy odporność chemiczna. W dalszej części przytoczono szczegółową charakterystykę wybranych materiałów [4, 10, 12].

3.1. PLA - kwas polilaktydowy, polilaktyd

PLA jest jednym z najpopularniejszych tworzyw sztucznych stosowanych w druku 3D. Do jego popularności, przyczyniła się jego niska cena jak, stosunkowa łatwość użytkowania. Ulega on rozkładowi biologicznemu, co jest korzystne dla środowiska. To ważny czynnik, przyciągający wielu użytkowników dla których stan środowiska nie jest obojętny. Warto jednak zapamiętać, że proces biodegradacji PLA trwa bardzo długo [19]. Jedną z szczególnych zalet PLA jest to, że podczas druku nie wydziela tak dużych ilości szkodliwych związków chemicznych, jak niektóre inne tworzywa. Wykorzystywany może być w celach edukacyjnych w szkołach i hobbystycznych w domach.

3.2. ABS - akrylonitrylo-butadieno-styren

ABS inaczej akrylonitrylo-butadieno-styren jest popularnym materiałem używanym w druku 3D. Charakteryzuje się nieprzepuszczalną powierzchnią i wysoką odpornością na niskie temperatury [31].

Do druku 3D z wykorzystaniem ABSu potrzebna jest drukarka o funkcji podgrzewania stołu roboczego, ponieważ ABS ma tendencję do odrywania się od podłoża podczas druku - wynika to z kurczliwości materiału. Filamenty ABS wymagają wyższej temperatury dyszy podczas druku, aniżeli np. PLA. Podczas schładzania ABS kurczy się, co może prowadzić do odkształceń lub pęknięcia modelu, dlatego zaleca się stosowanie osłony termicznej podczas drukowania [31].

Filamenty ABS cechują się wysoką wytrzymałością i odpornością na uderzenia. Możliwe jest poddanie ich dalszej obróbce: na przykład szlifowaniu/wierceniu jak i również obróbce chemicznej.

3.3. PETG – polimer termoplastyczny

PETG stanowi rodzaj tworzywa sztucznego należącego do grupy poliestrów termoplastycznych. PETG jest wariantem poliestru PET, w którym dodaje się glikol w celu poprawienia niektórych właściwości materiału. Politereftalan etylenu (PET) jest szeroko stosowanym tworzywem w przemyśle: głównie do produkcji butelek na napoje, czy zwykłych opakowań. Jest znany ze swojej wytrzymałości, przezroczystości i odporności chemicznej [32].

PETG charakteryzuje się lepszą elastycznością i niższą kruchością niż PET. Dzięki temu że PETG jest bardziej elastyczny i trwały, czyni to go bardziej odpowiednim do drukowania 3D i produkcji części narażonych na naprężenia mechaniczne. PETG jest również odporne na działanie wody i wilgoci, co czyni go odpowiednim materiałem do wydruków nieprzepuszczających wody.

PETG jest popularnym wyborem wśród użytkowników drukarek 3D ze względu na jego łatwość drukowania, niski koszt i wysoką wytrzymałość mechaniczną. Materiał ten znajduje zastosowanie w drukowaniu np. uchwytów, zacisków [32].

3.4. Nylon

Nylon jest wszechstronnym i wytrzymałym materiałem stosowanym w druku 3D. Charakteryzuje się wysoką wytrzymałością mechaniczną, odpornością na pęknięcia i ścieranie oraz doskonałą elastycznością. Filamenty nylonowe oferują również odporność na wysokie temperatury i działanie substancji chemicznych. Mogą być także wzbogacane o dodatki, takie jak włókno węglowe, włókno szklane lub szklane mikrosfery, co poprawia ich właściwości wytrzymałościowe i termiczne. Nylon występuje w różnych odmianach. Oznaczenia liczbowe w nazwie wskazują na liczbę atomów węgla w jego składzie – np. „PA12” [33].

Drukowanie z nylonu wymaga specjalnych warunków i urządzeń. W przypadku drukarek FDM, wymagane jest posiadanie wysokiej jakości hot-endu, który utrzyma odpowiednią temperaturę (min 225°C). Również samo przechowywanie filamentu nylonowego wymaga szczególnej ostrożności, ponieważ materiał ten jest bardzo higroskopijny i łatwo absorbuje wilgoć z otoczenia [33].

3.5. PVA – polialkohol winylowy

PVA, czyli inaczej alkohol winylowy to termoplastyczne tworzywo wykorzystywane w druku 3D jako materiał podporowy, który można łatwo rozpuścić w wodzie. PVA charakteryzuje się wysoką udarnością, elastycznością i odpornością na rozciąganie. Jest bezwonny, niskotoksyczny i w pełni biodegradowalny. Filament PVA jest wykorzystywany głównie do drukowania struktur podporowych, które są usuwane poprzez zanurzenie wydruku w wodzie. Dzięki swojej doskonałej adhezji, podpory wykonane z PVA dobrze przylegają do innych elementów wydruku, utrzymując je w odpowiedniej pozycji. Jest szczególnie przydatny przy drukowaniu skomplikowanych obiektów. Jego rozpuszczalność w wodzie, czyni go łatwym do usunięcia i eliminuje konieczność stosowania agresywnych rozpuszczalników. Ważne jest odpowiednie przechowywanie filamentu PVA w szczelnym pojemniku z pochłaniaczem wilgoci, aby utrzymać jego właściwości [10,12].

3.6. TPU – poliuretan termoplastyczny

TPU to elastomer termoplastyczny, który jest jednym z wielu wariantów poliuretanu. Jest to materiał o się wyjątkowej elastyczności, trwałości i odpornością na ścieranie. TPU może być przetwarzane przez różne technologie obróbki [10,12]. TPU otrzymuje się poprzez reakcję chemiczną. Materiał ten cechuje się naprzemiennymi sekwencjami twardych i miękkich segmentów, co pozwala na regulację twardości materiału poprzez modyfikację proporcji tych segmentów. Posiada znakomitą odporność na ścieranie, dobrą przyczepność do podłoża, a także wysoką odporność na ogień, promieniowanie UV i hydrolizę. TPU wyróżnia się także trwałością, zdolnością amortyzacji i elastycznością [10]. Materiał ten znajduje szerokie zastosowanie w różnych sektorach przemysłowych, np. w przemyśle meblarskim, samochodowym czy obuwniczym.

TPU wyróżnia się również kilkoma innymi zaletami: jest odporny na warunki atmosferyczne, oleje, tłuszcze i wiele rozpuszczalników. W porównaniu do niektórych innych elastomerów, TPU ma również niższy moduł Younga, co oznacza większą elastyczność. Ponadto, materiał ten można przetwarzać bez konieczności dodawania specjalnych dodatków, co przekłada się na mniejsze zużycie energii podczas jego produkcji.

3.7. Materiały metaliczne

Drukowanie z materiałów metalicznych polega na nanoszeniu warstw materiałów metalicznych w formie proszków i ich przetapianiu lub spiekaniu w celu tworzenia wyjątkowo wytrzymałych przedmiotów [7, 9-12]. Istnieje kilka metod druku 3D z materiałów metalicznych, są to takie jak: SLS/DMLS (selektywne spiekanie laserowe / bezpośrednie selektywne spiekanie laserowe), SLM (selektywne stapianie laserowe), EBM (topnienie wiązką elektronów) i LENS (finalne napawanie laserowe części). Każda z tych metod wykorzystuje różne procesy i technologie, ale wszystkie umożliwiają precyzyjne wytwarzanie przedmiotów z metali. Drukowanie z materiałów metalicznych ma wiele zastosowań, gdyż pozwala na tworzenie trudnych do wykonania lub niemożliwych do wykonania tradycyjnymi metodami części o skomplikowanych kształtach. Przedmioty wydrukowane z metali mogą mieć doskonałe właściwości mechaniczne, wysoką wytrzymałość i a także być odporne na korozję (przy zastosowaniu odpowiedniego metalu lub właściwy postprocessing). Druk metaliczny jest również wykorzystywany w celu zmniejszenia masy i optymalizacji konstrukcji, co jest istotne w branżach, gdzie „oszczędność na masie” jest kluczowym czynnikiem. Druk 3D z materiałów metalicznych wymaga specjalistycznych drukarek 3D, które są w stanie kontrolować parametry procesu. Technologia ta rozwija się dynamicznie i ma duży potencjał w przemyśle wytwarzania i prototypowania [26, 27].

3.8. Biomateriały

Biomateriały używane w druku 3D charakteryzują się kilkoma istotnymi cechami. Do najważniejszych z nich zalicza się [28-30]:

- biokompatybilność; jest to kluczowe, gdyż dzięki temu nie wywołują negatywnych reakcji ze strony organizmu po ingerencji,
- odporność i wytrzymałość mechaniczna; muszą być wystarczająco mocne i wytrzymałe,
- możliwość dostosowania do kształtu i wymiarów; dokładnie dostosowane do indywidualnych potrzeb pacjenta,
- funkcjonalizacja; dodanie różnych substancji lub leków w celu zapewnienia dodatkowych korzyści terapeutycznych,
- zgodność z regulacjami i normami określającymi ich jakość, bezpieczeństwo i skuteczność.

Warto zaznaczyć, że biomateriały wykorzystywane w druku 3D mogą być różnego rodzaju, a wybór konkretnego biomateriału zależy od zamierzonego zastosowania i wymagań projektu, decyzję o tym który biomateriał zostanie wybrany powinien podejmować specjalista. Lista biomateriałów używanych w druku 3D jest ciągle rozszerzana i badana, a nowe materiały są opracowywane w celu spełnienia różnych wymagań aplikacyjnych i zapewnienia lepszej biokompatybilności funkcjonalności.

4. Ogólne zastosowanie druku 3D

Technologia druku 3D używana jest coraz częściej do tworzenia prototypów samochodów, elementów wyposażenia medycznego, biżuterii, narzędzi, a nawet domów. Druk 3D zyskuje coraz większą popularność i znajduje szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. W przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym można wykorzystać go w celu tworzenia lekkich, wytrzymałych i zoptymalizowanych struktur. W medycynie dzięki tej technologii możliwe jest wydrukowanie sztucznych kości, tkanek miękkich, a nawet narządów. Co więcej dzięki specjalistycznym drukarkom 3D oraz odpowiednim filamentom medycyna zyskała możliwość odtwarzania struktur, które uległy uszkodzeniu lub nie rozwinęły się prawidłowo [3]. Przemysłowe drukarki 3D umożliwiają produkcję obudów do prototypów, narzędzi i form do produkcji, a także specjalistycznego oprzyrządowania. Technologia druku 3D daje również możliwość inżynierii odwrotnej, czyli tworzenia kopii i zamienników istniejących elementów, jak i również tych których czasy świetności minęły. Dzięki drukowaniu przestrzennemu możliwe jest szybkie i dokładne tworzenie makiet oraz testowanie różnych rozwiązań konstrukcyjnych. W edukacji drukarki mogą być wykorzystywane w do przygotowywania modeli, które pozwolą lepiej przyswajać zagadnienia uczniom. Dzieci mogą tworzyć modele naukowe, eksperymentować z geometrią czy badać struktury biologiczne. Druk 3D staje się narzędziem kształcenia praktycznego, rozwijającym umiejętności projektowania, radzenia sobie z problemami natury technicznej, jak i rozwija myślenie przestrzenne, a co za tym idzie - kreatywność. W branży rozrywkowej i kulturowej druk 3D otwiera nowe możliwości w tworzeniu unikalnych przedmiotów, kostiumów, rekwizytów czy dekoracji scenicznych.

5. Podsumowanie

W perspektywie tak szybko rozwijającego się przemysłu, przyszłość druku 3D wydaje się niezwykle obiecująca. Jest to jeden z tych obszarów technologii, w którym stale zachodzą zmiany. Nieustannie pracuje się nad rozwojem tej technologii, dążąc do udoskonalenia drukarek, materiałów i procesów, co przyczynia się do dynamicznego rozwoju całej branży. Poznawanie nowych, zaawansowanych materiałów, takich jak metale czy biokompatybilne tworzywa, poszerzają perspektywy w zakresie tworzenia jeszcze bardziej zaawansowanych prototypów i produktów, w tym implantów medycznych czy elementów lotniczych.

Dodatkowo, rozwijające się technologie drukowania wielomateriałowego, pozwalające łączyć różne materiały w jednym obiekcie, otwierają drzwi do produkcji jeszcze bardziej złożonych konstrukcji. Technologie te mogą łączyć tworzywa o różnych właściwościach, co ma ogromny potencjał w produkcji niestandardowych rozwiązań i produktów dostosowanych do indywidualnych potrzeb. Przypuszczać można, że druk 3D stając się coraz bardziej dostępny i wszechstronny, będzie odgrywał coraz większą rolę w przemyśle, medycynie, a także w codziennym życiu.

LITERATURA

1. BĘCEK K.: Assessing the Global Digital Elevation Models using the Runway Method: The Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Versus the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Case”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2013, 52.8: 4823-4831.
2. CHLEBUS E.: Techniki komputerowe cax w inżynierii produkcji, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
3. CICHON K., BRYKALSKI A.: Zastosowanie drukarek 3D w przemyśle. Przegląd Elektrotechniczny, 3, 2017, s. 156-158
4. KRUNIC S., PERINIC M., MARIČIĆ, S.: Rapid Prototyping application. Engineering Review, 2010
5. SZMIDT, A., RĘBOSZ-KURDEK A.: Sposoby doskonalenia druku 3D w technologii FDM/FFF”. Mechanik 3 (2017), s. 258-261
6. IRLA J., Praktyka projektowa Autocad versus IRyda – przygotowanie i wydruk dużej ilości przekrojów (kładow) na podstawie prac związanych z projektem skrzydła samolotu IRyda, cad.pl, Nr 1, Warszawa 1997.
7. NOISTERING J.F.: Carbon fibre composites as stay cables for bridges. Applied composites materials, 7, 2000, 139-150.
8. PARIAN i in., 2010: Sensor modeling, self-calibration and accuracy testing of panoramic cameras and laser scanners. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65(1). 2010, Tom 65(1), strony 60-76. Poli, 2006: Poli D., „Reality-based 3D City Models from Aerial and Satellite Data”. GEO Informatics no. 3, Vol. 9.
9. PERPELKIN K.E.: Polymeric fibre composite, basic types, principles of manufacture and properties. Part 2. Fabrication and properties of polymer composite materials. Fibre Chemistry, vol. 37, no. 5, 2005, 381–400.
10. PRZYGOCKI W., WŁOCHOWICZ A.: Fulereny i nanorurki. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
11. RYCHLIK M., SKANERY 3D: Wrota do wirtualnego świata, design News, Nr 4(23) str.:36-40.
12. Schwalbe E.: 3D building model generation from airborne laser scanner data by straight line detection in specific orthogonal projections”, ISPRS, Commission 3, 2004.
13. WĘŻYK P., ZIELIŃSKI J., WOŹNIAK P., ANDRZEJEWSKI A., KUKIEŁA M., KIERYŚ-KUKLA E., KACZMARCZYK-KOZA M., MARCINKOWSKA A., UZIEMBŁO A., WALAS P., MARGASIŃSKI G., „Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR”. Warszawa 2014.
14. Portal branżowy AutomatykaB2B: <https://automatykab2b.pl/technika/>, 13.09.2023
15. Jak działa druk 3D z metalu?: <http://centrumdruku3d.pl/dziala-druk-3d-metalu/>, 13.09.2023
16. Druk 3D w metalu: <https://drukarki3d.pl/oferta/eos-m400/>, 13.09.2023
17. Technologia FDM/FFF: <https://drukarki3d.pl/technologie/technologie-fdm-fff/>, 13.09.2023
18. Technologia SLA: <https://drukarki3d.pl/technologie/technologie-sla/>, 13.09.2023

19. An Outstanding Technology for SLS 3D Printing:
<https://www.eos.info/en/additive-manufacturing/selective-laser-sintering>, 13.09.2023
20. Technologia SLS: <https://drukarki3d.pl/technologie/technologie-sls/>, dostęp: 13.09.2023
21. Digital Light Processing, DLP: <https://3dcenterpolska.pl/dlp-digital-light-processing/>, 13.09.2023
22. Digital Light Processing, DLP: <https://www.manufacturingguide.com/en/digital-light-processing-dlp>, 13.09.2023
23. Technologia MJF: <https://3d.tech/druk-3d-mjf/>, 13.09.2023
24. Wykorzystanie technologii druku 3D MJF w produkcji form do termoformowania:
<https://centrumdruku3d.pl/case-study-wykorzystanie-technologiei-druku-3d-mjf-w-produkcji-form-do-termoformowania/>, 13.09.2023
25. Druk 3D metodą Multi Jet Fusion (MJF): <https://3d.edu.pl/druk-3d-metoda-multi-jet-fusion-mjf-proste-wyjasnienie/>, 13.09.2023
26. Z jakich metali można drukować na drukarkach 3D: <https://centrumdruku3d.pl/z-jakich-metali-mozna-drukowac-3d/>, 13.09.2023
27. Druk 3D metali, wprowadzenie: <https://procestechnologiczny.com.pl/druk-3d-metali-wprowadzenie/>, 13.09.2023
28. Biodrukowanie 3D: <https://biznes.newseria.pl/news/biodrukowanie-3d-bedzie,p1583093952>, 13.09.2023
29. Druk 3D w leczeniu ludzi i zwierząt: <https://polskiprzemysl.com.pl/druk-3d-i-tworzywa-sztuczne/druk-3d-w-chirurgii-onkologicznej/>, 13.09.2023
30. Synteza i charakterystyka nowych biomateriałów na bazie trójwymiarowych (3D) wielofunkcyjnych podłoży tytanowych: <https://www.wim.pw.edu.pl/Badania-i-nauka/Projekty/NCN/Synteza-i-charakterystyka-nowych-biomaterialow-na-bazie-trojwymiarowych-3D-wielofunkcyjnych-podlozy-tytanowych>, 13.09.2023.
31. Drukowanie z ABS: <https://3d.edu.pl/drukowanie-z-abs-6-prostych-wskazowek-jak-osiagnac-sukces/>, 13.09.2023
32. Czym jest i jak drukować z filamentu PETG: <https://get3d.pl/2020/05/13/jak-drukowac-z-petg/>, 13.09.2023
33. Nylon, czyli wytrzymałość i elastyczność w jednym filamencie:
<https://zadar.pl/nylon-czyli-wytrzymalosc-i-elastycznosc-w-jednym-filamencie>, 13.09.2023